

文章编号: 0253-9985(2005)04-0427-06

中国主要含油气盆地地球化学场特征

赵克斌^{1,2}, 孙长青^{1,2}

(1. 中国地质大学, 武汉 430074 2. 中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 无锡 214151)

摘要: 依据酸解烃甲烷、重烃和 ΔC 的均值、变异系数, 中国主要含油气盆地的地球化学场划分为高、中、低背景场以及高度非均匀场、非均匀场及均匀场。中国主要含油气盆地地球化学场总体趋势是西部(鄂尔多斯、四川盆地以西)含油气盆地高于东部含油气盆地, 东北含油气盆地低于中部含油气盆地, 而高于南方含油气盆地。其主要原因除与油气地质条件相关外, 还取决于近地表沉积物的性质, 以及地理、地貌的景观条件。在全国化探概查成果的基础上, 结合已知油气藏化探异常的综合特征, 在油气勘探程度相对较低的地区, 选择局部综合异常强度大、多种指标相互配置好的松辽盆地中央凹陷南部的长岭断陷、西部斜坡及西南隆起钱家店断陷; 周口盆地谭庄-沈丘凹陷; 松潘-阿坝地区的辖曼-曼日玛-阿万仓异常区及下扬子地区的无为-和县及望江异常区为油气勘探的远景地区。并在 7 个盆地(或地区)化探普查成果的基础上, 进一步划分了 25 个有利的含油气区带。

关键词: 油气化探; 异常; 地球化学场; 远景地区; 有利区带; 含油气盆地

中图分类号: TE112.3 **文献标识码:** A

Characteristics of geochemical field in China's major petroliferous basins

Zhao Kebin^{1,2}, Sun Changqing^{1,2}

(1. China University of Geosciences, Wuhan;

2. Wuxi Institute of Petroleum Geology, Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Wuxi)

Abstract According to the methane, heavy hydrocarbons and mean ΔC measured with acidolytic hydrocarbon method and variation coefficient, the geochemical fields in China's major petroliferous basins can be classified as high, medium and low ambient fields, as well as highly non-homogeneous, non-homogeneous and homogeneous fields. As a whole, the geochemical fields of the petroliferous basins in western China (to the west of Ordos and Sichuan basins) are higher than that of the petroliferous basins in eastern China, and that of petroliferous basins in northeastern China is lower than that of the petroliferous basins in central China but higher than that of the petroliferous basins in southern China. In addition to the petroleum geologic conditions, the main causes are also related with the properties of near surface sediments and the geographical and geomorphologic landscape conditions. Based on the results of nationwide geochemical reconnaissance surveys and combined with the composite features of geochemical prospecting anomalies in the proven oil and gas reservoirs, areas with strong local composite anomaly and good consistence of various indexes in relatively under-explored regions are selected as prospective areas, including Changling fault depression in the southern end of central depression, western slope, and Qianjiadian fault depression in southwestern uplift of Songliao basin, Tanzhuang-Shenqiu depression in Zhoukou basin, Xianan-Manrim-Awancang anomaly zone in Songpan-Aba region, and WueiHexian and Wangjiang anomaly zones in Lower Yangtze region. Twenty five plays have further been subdivided based on the results of geochemical prospecting in 7 basins (or regions).

Key words geochemical exploration of oil and gas; anomaly; geochemical field; prospective area; play; petroliferous basin

基金项目: “八·五”国家重点攻关项目“化探方法在预测天然气中的应用及地质解释”(85-102-01-06-03)及中国石化科技攻关项目“中国石化主要含油气盆地地球化学场特征研究”

第一作者简介: 赵克斌, 男, 41岁, 教授级高级工程师(博士生), 油气地球化学

收稿日期: 2005-08-03

1 研究思路

本研究以现有的我国主要含油气盆地油气化探资料和相应的石油地质基础资料为基础,围绕研究区化探资料连片成图解释这一中心,选择对油气藏较敏感的油气化探指标,即酸解烃、蚀变碳酸盐、热释汞(勘探程度较高的区块增加了

热释烃、荧光、水化学等),从全局的角度对含油气盆地的油气化探数据进行统一处理,充分挖掘地球化学信息,揭示区域地球化学特征与盆地油气分布之间的联系,为新区、新盆地开展油气化探及新区的油气勘探工作提供油气化探的基础信息和成果。其研究思路及技术路线如图 1 所示。

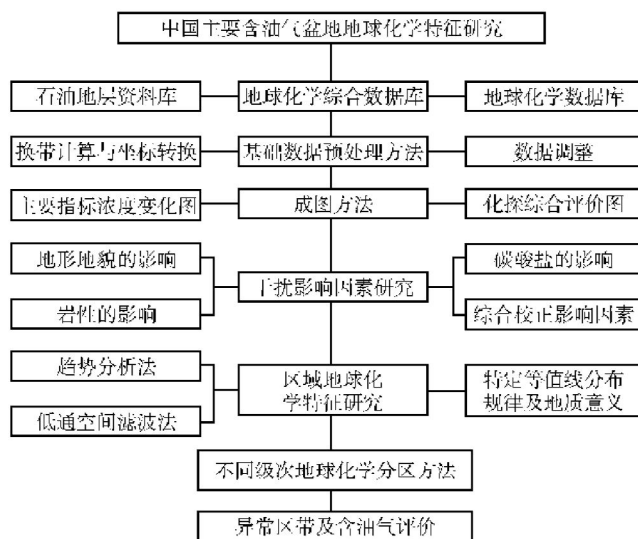


图 1 研究思路及技术路线框图

Fig. 1 Block scheme showing clues of study and technical route

2 研究方法

2.1 数据汇总及预处理

数据入库与检查: 本项目收集和整理的化探数据来源于不同年代的化探概查、普查、详查和精查区块,入库前需统一标准和格式,对数据进行全面检查,先建立各盆地子库,核对无误后,将数据合并形成盆地油气化探数据总库。

换带计算与坐标转换: 各盆地不同比例尺的化探探区跨越多个 3°或 6°高斯投影带,统一成图时要求数据处于同一投影带,因此需要进行化探测点坐标的换带计算与坐标转换;另外,对于 1:1 000 000 化探图件一般采用双标准线等角锥体投影坐标系,还需将高斯投影系坐标转换为锥体投影系坐标。此两项工作利用制图学中的换带转换及投影转换公式,编制程序,由计算机自动完成。

数据调整: 各盆地历年化探数据可能存在年度间或单位间的批次差。这种数据之间的系统偏差在进行成图和数据分析前必须消除。通常采用“等概率原理”进行统一校正。

2.2 数据处理

本次研究所运用的数据处理方法较多,主要有 (1) 概率统计分析: 对化探各个指标分别进行概率统计,确认分析数据的分布状态、可利用程度及异常点; (2) 指标相关性研究: 采用聚类分析、相关分析、因子分析进行指标间相关性研究,寻找最佳指标组合,以利于地质解释; (3) 确定化探异常: 常用的方法有浓度值法、衬度法、滤波法、趋势面分析法、浓度梯度法、结构异常法、关联度异常法等。

2.3 成图

(1) 由于不同勘探阶段油气化探测点密度不尽一致,对于单指标数据成图时,必须对数据窗口采用滑动平均或滤波处理,同时考虑到各盆地区域背景的不同,常采用指定等值线间隔作图。

(2) 以盆地构造区划图为底图,叠合地球化学分区,并以不同颜色标示地球化学背景的高低。

(3) 对已知的含油气区,其化探异常特征根据异常模式采用指标组合形式标示异常区和油气田(藏)范围。

(4) 对化探预测区块,以化探指标异常为基

础, 根据指标间的组合关系、叠合程度及相应的异常模式, 采用异常叠合的方法指示预测区范围。

(5) 采用化探综合异常级别和油气地质背景相结合的方式的综合评判, 对化探预测区按有利区块、有利区带和值得重视的地区 3 类进行分级评价, 在评价图上, 以不同的线条表示评价的级别, 并用罗马字母 iv, ㊦, ㊧分别表示评价的优劣。

(6) 以各盆地总体勘探部署图为底图, 叠加不同年代油气化探工区范围, 并标注油气化探勘查性质, 以展示盆地油气化探的研究程度。

2.4 区域地球化学场

趋势分析法: 该方法的实质是用一个包括 X , Y 坐标的多项式来拟合实际数据, 并将实测数据分成趋势和剩余两部分。受大范围控制的趋势部分, 反映区域性变化的总体特征, 受局部因素和随机因素控制的剩余部分, 反映局部异常和随机误差。通过趋势面分析能更好地认识油气化探的区域性变化规律和局部特征。

低通空间滤波法: 该方法的实质是用各种形式的平滑计算抑制局部的起伏, 使缓慢的变化显示出来。该方法灵活性大, 计算快捷, 且便于不同图幅的拼接。为提取不同规模的区域异常, 须进行多种窗口的试用。

特定等值线分布规律及地质意义: 方法的实质是观察特定油气化探指标的分布规律, 研究其圈定范围内的石油地质条件, 进而开展类比研究。

3 区域地球化学场特征

区域地球化学场系指具有一定的地球化学效应

平, 它近似地代表了区域地球化学场背景水平。

变异系数 (C_v): 表征数据的相对变化大小 ($C_v = S/\bar{X}$), 其中 S 为标准偏差。表示数据波动大小, 近似地代表了地球化学场的不均匀程度和矿化作用的复杂性。

我国主要含油气盆地酸解烃和 ΔC 的地球化学场特征见图 2 我国主要含油气盆地区域地化场划分原则见表 1 和表 2。由图 2 可见, 我国自东向西具有规律性变化趋势, 就酸解烃、 ΔC 等指标含量而言, 总体趋势是西部 (鄂尔多斯、四川盆地以西) 含油气盆地高于东部含油气盆地, 东北含油气盆地低于中部含油气盆地, 而高于南方含油气盆地, 其主要原因除与油气地质条件相关外, 还取决于近地表自然地理条件, 如西部气候干燥, 以砂质碱性土壤为主, 有利于有机质的保存和富集; 而南方地处潮湿温暖环境, 土壤呈酸性, 烃类含量降低; 北方土壤多呈深色, 以粘性土为主, 有机质含量相对南方较为丰富, 有利于烃类的富集, 油气化探指标含量亦明显高于南方。

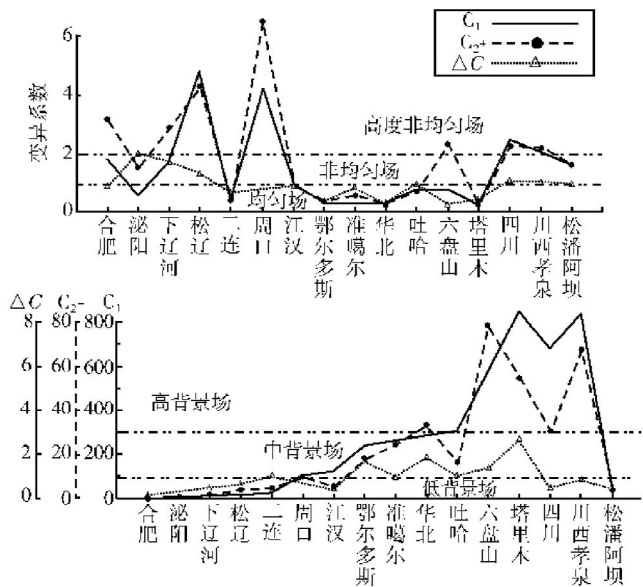


图 2 我国主要含油气盆地地化场对比图

Fig. 2 Correlation of the geochemical fields in the major petroliferous basins in China

表 1 区域地球化学丰度划分原则

Table 1 Principle of dividing regional geochemical abundance			
类别	$S_{C_1} / (\mu l \cdot kg^{-1})$	$S_{C_2+} / (\mu l \cdot kg^{-1})$	$\Delta C / \%$
高背景场	> 300	> 30	> 3
中背景场	90~ 300	6~ 30	1~ 3
低背景场	< 90	< 6	< 1

表 2 区域地球化学稳定度划分原则

Table 2 Principle of dividing regional geochemical stability			
类别	变异系数		
	S_{C_1}	S_{C_2+}	ΔC
高度非均匀场	> 2	> 2	> 2
非均匀场	1~ 2	1~ 2	1~ 2
均匀场	< 1	< 1	< 1

依据含油气盆地地化场特征和划分原则,我国主要含油气盆地的地化场特征(表 3)如下。

表 3 我国主要含油气盆地主要油气化探指标统计表

Table 3 Statistics of the main geochemical prospecting indexes in the major petroliferous basins in China

地 区	样本数 /件	酸解烃甲烷		酸解烃重烃		ΔC	
		均值 /($\mu\text{l} \cdot \text{kg}^{-1}$)	变异系数	均值 /($\mu\text{l} \cdot \text{kg}^{-1}$)	变异系数	均值 /%	变异系数
松 辽	26 995	11.23	4.79	3.59	4.28	0.61	1.33
塔里木	15 563	847.45	0.25	55.14	0.32	2.64	0.44
准噶尔	864	251.57	0.39	24.31	0.62	0.93	0.83
川西地区	3 891	839.30	2.04	67.85	2.21	0.8	1.04
鄂尔多斯	67 406	238.41	0.36	18.17	0.39	1.64	0.41
六盘山	9 430	593.34	0.80	78.54	2.36	1.33	0.30
周 口	5 073	106.29	4.23	9.71	6.51		
南阳-泌阳	5 302	2.82	0.58	0.31	1.56	0.07	2.01
江 汉	8 014	119.45	0.99	5.35	0.90	0.38	0.89
合 肥	45 518	2.82	1.81	0.06	3.16	0.11	0.90
松潘-阿坝	10 000	34.00	1.64	3.53	1.63	0.44	0.98

注:表中空格为无资料

3.1 四川盆地川西地区

四川盆地川西地区地化场的研究涉及 1988 至 1999 年度的 11 个化探工区,在我国主要含油气盆地中属高背景、低湿度的非均匀地化场。研究区内各工区 ΔC 的极差为 1.22% ~ 9.29%,最高为新都-金堂工区; ΔC 的平均值为 0.13% ~ 1.12%,变异系数为 0.67 ~ 2.46,最高为什邡工区。甲烷的极差为 123.10 ~ 1 849.63 $\mu\text{l}/\text{kg}$ 平均值为 9.70 ~ 134.45 $\mu\text{l}/\text{kg}$ 变异系数为 0.89 ~ 2.17,重烃的极差为 15.24 ~ 61.70 $\mu\text{l}/\text{kg}$ 均值为 0.98 ~ 7.77 $\mu\text{l}/\text{kg}$ 变异系数为 0.92 ~ 2.35, Hg 的极差为 46.21×10^{-9} ~ $2 164.82 \times 10^{-9}$,均值为 10.19×10^{-9} ~ 105.51×10^{-9} ,变异系数为 0.51 ~ 1.48。甲烷平均丰度在北部的什邡、绵竹、德阳工区最高,均大于 24 $\mu\text{l}/\text{kg}$ 为高背景场分布区,中部的新都-广汉-金堂、中江工区次之,为 12 ~ 24 $\mu\text{l}/\text{kg}$ 系中等背景场分布区,而南部的温江、龙泉驿工区最低,均低于 12 $\mu\text{l}/\text{kg}$ 为低背景场分布区。即甲烷背景场自南而北,由低变高,具有明显的分区特征。重烃含量除绵竹外,具有与甲烷基本一致的变化特征,即自南而北重烃含量不断增高。如南部的温江、龙泉驿工区重烃含量均低于 2.0 $\mu\text{l}/\text{kg}$ 系低背景场分布区;中部的新都-金堂、中江工区重烃含量为 2 ~ 4 $\mu\text{l}/\text{kg}$ 为中背景场分布区;北部的什邡、德阳工区最高,重烃含量均大于 4.0 $\mu\text{l}/\text{kg}$ 系高背景场分布区。也具有南北分区特征。这种区域地球化学场不仅与南北分区的燕山期古构造有关,而且还与该区天然气资源较为

丰富,断裂较为发育的地质条件和有关。

3.2 松辽盆地

松辽盆地地球化学勘探工作量大,但分布不均,主要工作集中在西部斜坡区和东南隆起区。总体而言,松辽盆地属于较低的地球化学背景、非均匀的地球化学场。盆地内,盆地北部的地球化学场高于盆地南部,东南隆起区高于西部斜坡区。其中,以中央坳陷区各项地球化学指标丰度相对较高,其重烃和 ΔC 的地球化学测量值分别是 4.16 $\mu\text{l}/\text{kg}$ 和 2.17%,东南隆起区重烃均值为 3.959 $\mu\text{l}/\text{kg}$ 西部斜坡区虽然重烃均值较高,重烃均值为 5.788 $\mu\text{l}/\text{kg}$ 但 ΔC 的均值仅为 0.593%,低于盆地平均水平。

3.3 塔里木盆地

塔里木盆地各项地球化学指标统计分析(表 3)表明,各项地球化学指标变异系数为 0.12 ~ 1.55,大部分小于 1.0 介于均匀场与非均匀地球化学场之间。根据我国主要含油气盆地地球化学场划分原则,塔里木盆地属高丰度背景、低湿度、均匀地球化学场特征,各项地球化学指标在区域上的分布特点是酸解烃甲烷、酸解烃重烃和甲烷浓度自西向东有增加的趋势。在南北方向上,大致以阿克库勒凸起为界,各项地球化学指标浓度在塔里木河附近最高,其浓度总的变化趋势为:阿克库勒凸起以北自北而南表现为下降趋势,凸起以南自北而南则呈上升趋势。蚀变碳酸盐和热释汞浓度分布特点是从北而南表现为升高的趋势。

3.4 鄂尔多斯盆地

鄂尔多斯盆地自20世纪80年代后期开始进行了大面积的油气地球化学勘查,累计调查区块42个,测点总数67406个样点,参照我国主要含油气盆地区域地化场划分原则,鄂尔多斯盆地属高背景、均匀地化场。盆地内部,大致以北纬 $37^{\circ}30'$ 为界,可分为北部低化探指标含量,高标准偏差的背景区,南部为高化探指标含量,低标准偏差的背景区,中间有一过渡带,属中、高化探指标含量,低标准偏差的背景区。鄂尔多斯盆地这种特定的地球化学场特征除与盆地北部以气为主,南部以油为主的含油气地质条件有关外,还与北部为沙漠区,岩性为沙性土,吸附性能差;南部为黄土区,岩性为黏土,吸附性能强等特定的地形地貌和表层岩性因素有着密切的联系。因此,鄂尔多斯盆地地球化学场的形成是区域油气地质条件和近地表因素综合作用的结果。

3.5 合肥盆地

合肥盆地共完成化探面积 $23\,715\text{ km}^2$,行政区划包括合肥、六安、舒城、霍邱、霍山、寿县、颖上、定远、巢湖等多个县市。按2点/ km^2 (东西间距1 km、南北间距0.5 km)的网度共采集土壤样品45518件。水溶烃迭代后均值为 $0.20\text{ }\mu\text{L/L}$,标准偏差为 $3.92\text{ }\mu\text{L/L}$,酸解烃甲烷迭代后均值为 $2.82\text{ }\mu\text{L/kg}$,标准偏差为 $1.81\text{ }\mu\text{L/kg}$,顶空气甲烷迭代后均值为 2.47×10^{-6} ,标准偏差为 9.05×10^{-6} ;顶空气重烃迭代后均值为 0.18×10^{-6} ,标准偏差为 0.66×10^{-6} ;热释汞迭代后均值为 5.92×10^{-9} ,标准偏差为 6.86×10^{-9} ;碳酸盐迭代后均值为 1.06×10^{-2} ,标准偏差为 1.42×10^{-2} 。综观上述各项地球化学指标浓度的变化特征,具有变化幅度较大,变异系数较高(最高可达19.6)的特点。合肥盆地属于低背景、高度非均匀地球化学场的范畴。

3.6 松潘-阿坝地区

松潘-阿坝地区共完成 $19\,240\text{ km}^2$ 的油气化探概查,行政区划大部分隶属四川省阿坝藏族羌族自治州的若尔盖、松潘、红原、阿坝等县,西接青海省久治县,北部包括甘肃省甘南藏族自治州的迭部、玛曲县,按每2点/ km^2 的网度,共采集化探样品10185件,分析测试了酸解烃、热释烃、荧光光谱、热释汞、蚀变碳酸盐(ΔC)、及少量三维荧光和甲烷稳定碳同位素。松潘-阿坝地区酸解烃甲烷均值为 $34.0\text{ }\mu\text{L/}$

kg标准偏差为 $55.65\text{ }\mu\text{L/kg}$,变异系数为1.64,热释烃甲烷均值为 $33.7\text{ }\mu\text{L/kg}$,标准偏差为 $23.39\text{ }\mu\text{L/kg}$,变异系数为0.69,荧光 360 nm 均值为 15.23 ,标准偏差为 16.84 ,变异系数为1.11;热释汞均值为 18.76×10^{-9} ,标准偏差为 21.55×10^{-9} ,变异系数为1.15;蚀变碳酸盐均值为0.44%,标准偏差为0.43%,变异系数为0.98。同其他含油气盆地相比,该区属于低背景、非均匀地球化学场的范畴。盆地内存在与低背景并不匹配的异常区段,是后期油气叠加的结果,说明该区存在油气运移与富集的历史,具有油气勘探的远景。

4 油气前景评价

根据前述的异常的研究方法,在排除或抑制各种油气化探干扰因素的基础上,依据已知油气藏化探异常的综合特征、盆地(或地区)主要地球化学指标浓度的分布、不同指标异常叠合程度及组合形式,参照区域石油地质条件,在我国化探概查的成果上划分了油气聚集的远景地区,在已进行化探普查的7个盆地(或地区)划分了油气聚集的有利含油气区带,并分别进行了分级与评价。

4.1 有利含油气远景区

4.1.1 松辽盆地

含油气远景地区包括了中央坳陷南部的长岭断陷、西部斜坡及西南隆起钱家店断陷。

中央坳陷南部富集区位于松辽盆地中南部,为长期发育的继承性凹陷区。凹陷内发育多套成油组合,砂岩体发育,储层物性好,具有极为有利的油气聚集成藏条件。该区中部的长岭断陷区 ΔC 含量较低,结合其他地化指标,具有较为典型的气藏特征。其西侧的通榆-华兴镇为中值区, ΔC 浓度为中值,应是油气混合有利区。东部跨入东南隆起, ΔC 浓度为较高值,也是油气混合有利区。

西部斜坡包括齐齐哈尔至白城一带,基底为一东倾单斜,上覆白垩系由东向西超覆。预测区位于西部斜坡区的中北部,已发现稠油及伴生的天然气。从地球化学特征来看,酸解烃浓度高,与油藏埋藏较浅,以及和稠油的出露有关, ΔC 呈斑块状异常分布,与油藏关系密切。综合其他化探指标的空间配置关系,指示该区应是寻找油气藏的有利区带。

西南隆起钱家店断陷有利区位于西南隆起区的北段,是勘探程度相对较低的区块,目前断陷内

已钻获工业油流,生储盖组合为自生自储型,主要储集岩为侏罗系九佛堂组,沙海组,次为阜新组和义县组,区域盖层为沙海组上部和阜新组上部泥岩。该区酸解烃重烃、 ΔC 浓度均为中值,该区综合化探异常,指标显示齐全,配置好,显示该区为有利的油气聚集区。

4.1.2 周口盆地谭庄-沈丘凹陷

该凹陷是寻找油气的有利地区。凹陷西部的谭参 1 井和周参 12 井与凹陷东部的周参 10 井、11 井化探特征显示了明显的差异。谭参 1 井的化探成果代表了下第三系核桃园组的地球化学特征,在区域上总烃处于中等含量,重烃含量高,烃类气体的轻、重烃比值显示了油的特征。芳烃组成以多环和稠环芳烃为主,甲烷碳同位素值大部分落于油田伴生气范围内,表明本区核桃园组有良好的找油远景。周参 11 井总烃含量相对较高,但重烃含量偏低,烃类气体的轻、重烃比值显示了气的特征,单环和双环芳烃占优势,甲烷碳同位素值为 $-35.97\% \sim -27.51\%$ 。属过成熟成因气,与下伏古生界的化探特征有一定的相似性,据此,认为该凹陷的西部是寻找中、新生界石油的有利地区。

4.1.3 松潘-阿坝地区辖曼-曼日玛-阿万仓 IV 类异常区

该区受若尔盖地块周边弧形构造的影响较小,有效化探指标(尤其是轻烷烃指标)虽属低背景,但异常显示清晰。该异常区带为松潘-阿坝地区 MT 中期成果* 提供的构造高部位相印证,可作为本区油气勘探的重点区域。

4.1.4 下扬子地区

该区油气勘探程度及油气化探研究程度较低,目前,该区圈定了无为-和县及望江 2 个异常段,可作为下一步油气勘探值得重视的地区。

4.2 有利区带

依据异常强度、指标组合、不同异常叠合程度、与已知油气藏化探异常特征相似程度,结合石油地质条件的分析,在已进行化探普查的 7 个主要含油气盆地(或地区)划分了如下有利含油气区带。

四川盆地:西部地区成都-新都、温江-崇庆、中江区带;

松辽盆地:东南隆起哈尔滨-榆树、伏龙泉-哈

拉海-小合隆区带。

鄂尔多斯盆地:榆林-伊金霍洛旗、杭锦旗、延川、延安-富县、铜川西北、镇原-环县区带。

塔里木盆地:哈德熏南、兰尕四号、塔里木乡、达南和肖塘。

合肥盆地:颖上-霍丘、丁集-六安、吴山-双墩集、桃溪-三河区带。

江陵凹陷:江陵-万城、公安-官沟、弥陀寺-宛市-松滋区带。

临清地区:凤凰集-贾寨、康庄、博平南区带。

致谢: 本项目的研究工作一直得到了各化探探区和原中国石化石油勘探开发研究院合肥化探研究所李沙圆、汤玉平同志及其他项目组的大力支持,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- 阮天健,费琪.石油天然气地球化学勘探[M].武汉:中国地质大学出版社,1992
Ruan Tianjian, Fei Qi. Oil and gas geochemical exploration[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992
- 程同锦,王者顺,吴学明,等.烃类运移的近地表显示与地球化学勘探[M].北京:石油工业出版社,1999
Cheng Tongjin, Wang Zheshun, Wu Xueming et al. Near-surface expression of hydrocarbon migration and geochemical exploration [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999
- 刘崇禧,赵克斌,余刘应,等.中国油气化探 40 年[M].北京:地质出版社,2001
Liu Chongxi, Zhao Kebin, Yu Liuying et al. Application of geochemical prospecting for oil and gas[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001
- 汤玉平.中国主要含油气盆地油气化探数据库及应用[J].物探化探计算技术,2000,22(4):295~301
Tang Yuping. Data base and application of petroleum geochemical exploration in main oil and gas-bearing basins in China[J]. Computing Technology of Physical and Geochemical Exploration, 2000, 22(4): 295~301
- 戴金星,王庭斌,宋岩,等.中国大中型天然气田形成条件与分布规律[M].北京:地质出版社,1997.260~263,238~298
Dai Jinxing, Wang Tingbin, Song Yan et al. Formation and distribution of medium-large gas fields in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 260~263, 238~298
- Tedesco Steven A. Surface geochemistry in petroleum exploration [M]. New York: Chapman & Hall, 1995
- 苟捷.天然气指纹分析在气藏地球化学描述中的应用[J].石油与天然气地质,2004,25(3):349~353

(下转第 439 页)

* 江苏省有色金属华东地质勘探局 814 队.松潘-阿坝地区 MT 重磁资料处理解释报告.2002

- 8 Li Maowen, Fowler M G, Obemajer M, et al. Geochemical characterization of Middle Devonian oils in NW Alberta Canada: possible source and maturity effect on pyrrolic nitrogen compounds [J]. *Organic Geochemistry*, 1999, 30: 1039–1057
- 9 李素梅, 王铁冠, 张爱云, 等. 原油中吡咯类化合物的地球化学特征及其意义 [J]. *沉积学报*, 1999, 17(2): 312–317
Li Sumei, Wang Tieguan, Zhang Aiyun, et al. Geochemical characteristics and significance of the pyrrolic compounds in petroleum [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(2): 312–317
- 10 张宝, 包建平. 有机含氮化合物研究新进展 [J]. *天然气地球科学*, 2004, 15(2): 182–186
Zhang Bao, Bao Jianping. New progress on organonitrogen compound studies [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2004, 15(2): 182–186
- 11 孙仲珂, 杨家福. 胜坨油田 [A]. 见: 张文昭, 编. 中国陆相大油田 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 605–618
Sun Zhongke, Yang Jiafu. Shengtuo Oilfield [A]. In: Zhang Wenzhao, ed. *Giant continental oilfields of China* [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. 605–618
- 12 刘华, 蒋有录, 杨万琴, 等. 东营凹陷中央隆起带油-源特征分析 [J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(1): 39–43
Liu Hua, Jiang Youlu, Yang Wanqin, et al. An analysis of oil-source characteristics of central uplift belt in Dongying depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(1): 39–43
- 13 朱光有, 金强, 戴金星, 等. 东营凹陷油气成藏期次及其分布规律研究 [J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(2): 209–215
Zhu Guangyou, Jin Qiang, Dai Jinxing, et al. A study on periods of hydrocarbon accumulation and distribution pattern of oil and gas pools in Dongying depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(2): 209–215
- 14 张林晔, 孔祥星, 张春荣, 等. 济阳坳陷优质烃源岩的发育及其意义 [J]. *地球化学*, 2003, 32(1): 35–42
Zhang Linye, Kong Xiangxing, Zhang Chunrong, et al. High-quality oil-prone source rocks in Jiyang Depression [J]. *Geochimica*, 2003, 32(1): 35–42
- 15 陈孔全, 徐言岗, 张文淮, 等. 松辽盆地南部有机包裹体特征及石油地质意义 [J]. *石油与天然气地质*, 1995, 16(2): 138–147
Chen Kongquan, Xu Yangang, Zhang Wenhua, et al. Characteristics of organic inclusions in southern Songliao basin and their significance for petroleum geology [J]. *Oil & Gas Geology*, 1995, 16(2): 138–147
- 16 王正允. 谢家湾构造流体包裹体及油气运移期 [J]. *石油与天然气地质*, 1998, 19(2): 152–156
Wang Zhengyun. Fluid inclusions and oil-gas migration period of Xiejawan structure [J]. *Oil & Gas Geology*, 1998, 19(2): 152–156
- 17 梁志刚, 林壬子, 张敏, 等. 辽河盆地深层烃类包裹体特征及油气藏注入史分析 [A]. 见: 林壬子, 编. 油气勘探与油藏地球化学 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1998. 71–77
Liang Zhigang, Lin Renzi, Zhang Min, et al. Analysis on the characteristics of hydrocarbon inclusions and the injection history of hydrocarbon pools in the deep of the Liaohe basin [A]. In: Lin Renzi, ed. *Hydrocarbon exploration and reservoir geochemistry* [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998. 71–77
- 18 Later S R, Bowler B, Li M, et al. Benzocarbazoles as molecular indicators of secondary oil migration distance [J]. *Nature*, 1996, 383: 593–597
- 19 李素梅, 庞雄奇, 黎茂稳, 等. 低熟油、烃源岩中含氮化合物分布规律及其地球化学意义 [J]. *地球化学*, 2002, 31(1): 1–7
Li Sumei, Pang Xiongqi, Li Maowen, et al. Characteristics of pyrrolic nitrogen compounds and their geochemical significance in oils and rocks of Banianhe oilfield, eastern China [J]. *Geochimica*, 2002, 31(1): 1–7

(编辑 李 军)

(上接第 432 页)

- Gou Jie. Application of hydrocarbon fingerprint analysis to geochemical description of gas pools [J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(3): 349–353
- 8 张玉明. 松辽盆地十屋断陷地表化探异常的成因 [J]. *石油与天然气地质*, 2001, 22(3): 280–281
Zhang Yuming. Origin of geochemical anomaly on ground surface of Shiwu faulted depression in Songliao basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22(3): 280–281
- 9 刘运黎. 似源组异常在油气化探中的应用 [J]. *石油与天然气地质*, 2003, 24(2): 184–186
Liu Yunli. Application of source-similar fabric anomaly analysis in petroleum geochemical exploration [J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(2): 184–186
- 10 李广之. 轻烃地球化学场的形成和特征 [J]. *石油与天然气地质*, 1999, 20(1): 66–69
Li Guangzhi. Formation and characteristics of light hydrocarbon geochemical fields [J]. *Oil & Gas Geology*, 1999, 20(1): 66–69

(编辑 李树森)